



REC'D 11 AUG 2004

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 28 721.3

**Anmeldetag:** 25. Juni 2003

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer  
eines elektrischen Energiespeichers

**IPC:** G 01 R 31/36

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 15. Juli 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Kahle

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

24.06.03 Bü/Pv

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers nach der Gattung des Hauptanspruchs sowie Vorrichtungen zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren.

Stand der Technik

Bei elektrischen Energiespeichern wie Akkumulatoren ist die Vorhersage der verbleibenden Restlebensdauer bis zur Gebrauchsunfähigkeit insbesondere bei Bleiakkus im Kfz von großer Bedeutung. Durch einen Warnhinweis an den Fahrzeugbetreiber vor einem bevorstehenden Batterieausfall kann die Batterie rechtzeitig getauscht und damit ein Liegenbleiben des Fahrzeugs oder der Ausfall elektrisch betriebener insbesondere sicherheitskritischer Verbraucher wie x-by-wire-Systeme vermieden werden. Ein zu frühzeitiger Batterietausch muss allerdings aus Kostengründen vermieden werden. Entscheidend sind daher auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnittene und möglichst exakt auswertbare Metriken für die Gebrauchstüchtigkeit mit parametrierbaren Schwellwerten für eine Batterietauschanzeige.

Aus der Literatur sind verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Gebrauchstüchtigkeit (SOH = State of Health) von Energiespeichern insbesondere von Bleiakkus, wie sie im Kfz eingesetzt werden bekannt. Als Maß für den Alterungszustand der Batterie wird zum einen die Abnahme ihrer Speicherfähigkeit gegenüber dem Neuzustand herangezogen, die z.B. durch Monitoring der Betriebsbedingungen wie Ladungsumsatz, Tiefentladephasen und Umgebungstemperatur abgeschätzt (US 6.103.408) oder aus den Strom- u. Spannungsverläufen in typischen, wiederkehrenden Belastungsfällen (Motorstart) er-

mittelt wird. Zum anderen wird als Alterungsmaß auch die Abnahme der Leistungsfähigkeit durch Beobachtung des Spannungseinbruchs beim Motorstart (DE 19750309A) oder des temperatur- und ladezustandskompensierten dynamischen Innenwiderstands (DE 3712629C2, DE 10049495A) über der Batterielebensdauer verwendet.

Die aktuelle Gebrauchstüchtigkeit des Energiespeichers wird also entweder anhand der aktuellen Speicherfähigkeit oder der Leistungsfähigkeit bezogen auf den Motorstart bewertet. Genauere auf unterschiedliche auch kombinierte Anwendungsfälle (Motorstart, Elektro-/Hybridfahrzeug, Versorgung sicherheitskritischer elektrischer Verbraucher, ...) applizierbare Kriterien für die Gebrauchstüchtigkeit werden in der Literatur nicht angegeben und ausgewertet. Auch eine Vorhersage der noch verbleibenden Lebensdauer findet nicht statt.

#### Aufgabe der Erfindung.

Die Erfindung ermittelt durch Extrapolation mit Hilfe eines mathematischen Modells des Energiespeichers insbesondere einer Kfz-Bleibatterie (z.B. DE-P 10301823, DE-P 10303506), die noch verbleibende Lebensdauer, bis eine beliebig vorgebbare Mindestleistungs- und/oder -speicherfähigkeit bei gegebenen Randbedingungen für Ladezustand und Temperatur unterschritten wird. Die verbleibende Lebensdauer und eine Warnung bei Unterschreitung eines vorgegebenen Schwellwerts werden dem Fahrzeugführer angezeigt.

#### Vorteile der Erfindung

Die Erfindung überwindet die im Stand der Technik beschriebenen Nachteile der bekannten Verfahren zur Bestimmung der Gebrauchstüchtigkeit eines Energiespeichers mit Hilfe eines Modells des Energiespeichers, dessen Parameter über der Lebensdauer kontinuierlich an die realen Werte adaptiert werden. Aus den in regelmäßigen Zeitabständen anhand des Modells berechneten und gespeicherten Werten der auf einen vorgegebenen Ladezustand (z.B. Vollladung) und Temperatur (z.B. Kaltstarttemperatur  $-18^{\circ}\text{C}$ ) bezogenen Leistungs- und/oder Speicherfähigkeit und den für den jeweiligen Anwendungsfall geforderten Mindestwerten wird die zu erwartende Restlebensdauer durch Extrapolation bestimmt.

Die Vorteile gegenüber dem Stand der Technik sind im einzelnen:

- Verwendung eines mathematischen Modells mit selbsttätiger Anpassung an den verwendeten Energiespeicher durch kontinuierliche Adaption der Parameter des Energiespeichermodells. (z.B. wichtig nach Batteriewechsel im Kfz -> keine Kennfelder für Alterungsverhalten der eingesetzten Batterie erforderlich) -> genauere Bestimmung der Gebrauchstüchtigkeit und der Restlebensdauer -> Verringerung der Gefahr eines zu frühen bzw. zu späten Batterietauschs
- auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnittene einfach parametrierbare Metriken für die Gebrauchstüchtigkeit des Energiespeichers bzgl. Speicher- und/oder Leistungsfähigkeit -> einfach an unterschiedliche Anwendungsfälle applizierbar
- Ermittlung der noch verbleibenden Lebensdauer durch Extrapolation der Zeitverläufe der berechneten auf einen bestimmten Ladezustand und Temperatur bezogenen Speicher- und/oder Leistungsfähigkeit -> rechtzeitige Warnung bei schneller Abnahme von Speicher- und/oder Leistungsfähigkeit auch wenn deren Absolutwerte aktuell noch ausreichend hoch sind  
-> z.B. wird bereits im Sommer eine unter Winterbedingungen nicht mehr kaltstartfähige Batterie erkannt und kann so rechtzeitig getauscht werden.

### Beschreibung / Realisierung

Bild 1 zeigt die grundsätzliche Struktur des Verfahrens. Es teilt sich in 3 Stufen auf. Zunächst werden in der ersten Stufe die im Vektor  $p$  zusammengefassten Parameter des mathematischen Energiespeicher-Modells mittels eines Parameterschätzers (z.B. Kalman-Filter nach R.304628) durch kontinuierliche Messung der Betriebsgrößen Batteriestrom  $I_{\text{Batt}}$ , -spannung  $U_{\text{Batt}}$  und -temperatur  $T_{\text{Batt}}$  adaptiert. Bei einer Bleibatterie enthält  $p$  z.B. Größen wie ohmscher Innenwiderstand, Kapazität u. Diffusionswiderstand. Wichtig ist, dass diese Größen auf eine vorgegebene Temperatur (z.B. 25°C) und Ladezustand (Vollladung) normiert sind, d.h. diese sich bei gegebener Batterie nur aufgrund von Alterungseinflüssen ändern.

Mit den Batterieparametern  $p$  wird in der zweiten Stufe das im Spannungs- u. Ladungsprädiktor verwendete mathematische Batteriemodell initialisiert. Der Spannungsprädiktor liefert die aktuelle Leistungsfähigkeit der Batterie, indem er

mit Hilfe des Batteriemodells die Spannungsantworten  $U_{\text{Batt,pred1,2,...}}$  auf gegebene Laststromprofile  $I_{\text{BattU1,2,...}}$  unter gegebenen Randbedingungen für die Batteriezustandsgrößen  $z_{\text{U1,2,...}}$  und -temperaturen  $T_{\text{BattU1,2,...}}$  prädiziert (vgl. DE-P 10304823). Der Vektor  $z_{\text{U1,2,...}}$  der vorzugebenden Batteriezustandsgrößen des Batteriemodells enthält bei einer Bleibatterie z.B. Größen wie Ruhespannung, Konzentrations- u. Durchtrittspolarisation.  $I_{\text{BattU1,2,...}}$ ,  $z_{\text{U1,2,...}}$  und  $T_{\text{BattU1,2,...}}$  sind abhängig vom Anwendungsbereich des Energiespeichers vorzugeben. Z.B. wären bei einer Starterbatterie für  $I_{\text{Battu}}$  das vom Anlasser bei der Kaltstarttemperatur  $T_{\text{Battu}} = -18^\circ\text{C}$  geforderte Stromprofil mit  $z_0$  entsprechend einer vollgeladenen Batterie sinnvolle Vorgaben.

Der Ladungsprädiktor liefert die aktuelle Speicherfähigkeit der Batterie, indem er mit Hilfe des Batteriemodells die entnehmbaren Ladungen  $Q_{e,\text{pred1,2,...}}$  für die Entladeströme  $I_{\text{BattQe1,2,...}}$  und Temperaturen  $T_{\text{BattQe1,2,...}}$  ausgehend von den vorgegebenen Batteriezuständen  $z_{\text{Qe1,2,...}}$  berechnet bis die Batteriespannung die vorgegebenen Werte  $U_{\text{BattQ1,2,...}}$  unterschreitet (DE-P 10304823). Z.B. liefert der Ladungsprädiktor bei Vorgabe von  $I_{\text{BattQe}} = I_{20} = K20/20\text{h}$ ,  $T_{\text{BattQe}} = 27^\circ\text{C}$ ,  $U_{\text{BattQe}} = 10.5\text{V}$ ,  $z_{\text{Qe}} =$  entsprechend Volladung, die aktuell unter Nennbedingungen entnehmbare Ladung einer Starterbatterie der Nennkapazität K20.

Mit dem Ladungsprädiktor können auch kombinierte Anforderungen an den Energiespeicher bzgl. Speicher- und Leistungsfähigkeit ausgewertet werden. Dazu wird das Entladestromprofil  $I_{\text{BattQe}}$  um ein Laststromprofil entsprechend den zur Spannungsprädiktion verwendeten erweitert und für  $U_{\text{BattQ}}$  die minimal erlaubte Batteriespannung bei Belastung mit dem vorgegebenen Laststromprofil eingesetzt (s. DE-P 10304823). Bei einer Starterbatterie kann so z.B. berechnet werden, wie groß die Ladungsreserve bei Volladung, vorgegebenem Entladestrom und Temperatur bis zur Startfähigkeitsgrenze ist.

In Stufe III werden die Zeitverläufe der von Spannungs- u. Ladungsprädiktor berechneten Spannungen  $U_{\text{Batt,pred1,2,...}}$  und entnehmbaren Ladungen  $Q_{e,\text{pred1,2,...}}$  gespeichert und die Zeitdauer  $t_{\text{Rest}}$  bis mindestens eine dieser Größen ihren zugehörigen vorgegebenen Minimalwert  $U_{\text{Battmini1,2,...}}$  bzw.  $Q_{\text{emini1,2,...}}$  unterschreitet durch Extrapolation berechnet (s. Bild 2). Die vorgegebenen Minimalwerte  $U_{\text{Battmini1,2,...}}$  bzw.  $Q_{\text{emini1,2,...}}$  kennzeichnen die Grenze zur Gebrauchsunfähigkeit der Batterie bezüglich der jeweiligen Anforderungen an ihre Speicher- und/oder Leistungsfähigkeit. Die Extrapolation kann im einfachsten Fall linear aus den letzten 2 zu den Zeitpunkten  $t_a, t_b$  gespeicherten Zeit-Spannungs- bzw. Zeit-Ladungswertepaaren durchgeführt werden:

$$t_{\text{Rest},U} = (t_b - t_a) * (U_{\text{Battmin}} - U_{\text{Batt,predb}}) / (U_{\text{Batt,predb}} - U_{\text{Batt,preda}})$$

bzw.

$$t_{\text{Rest},Q} = (t_b - t_a) * (Q_{\text{emin}} - Q_{\text{e,predb}}) / (Q_{\text{e,predb}} - Q_{\text{e,preda}})$$

Bei mehreren Vorgaben für Speicher- und/oder Leistungsfähigkeit wird die resultierende Restlebensdauer  $t_{\text{Rest}}$  durch Minimumbildung der einzelnen  $t_{\text{Rest},U1,2,...}$  und  $t_{\text{Rest},Q1,2,...}$ -Werte bestimmt:

$$t_{\text{Rest}} = \min(t_{\text{Rest}U1}, t_{\text{Rest}U2}, \dots, t_{\text{Rest}Q1}, t_{\text{Rest}Q2}, \dots)$$

Zur genaueren Ermittlung der Restlebensdauer  $t_{\text{Rest}}$  kann die Extrapolation auch mit mehr als 2 Zeit-Spannungs- bzw. Zeit-Ladungswertepaaren und aufwendigeren Verfahren wie linearer Regression oder bei nichtlinearen Verläufen mittels Polynomen oder auf neuronalen Netzen basierenden Methoden (RBF) durchgeführt werden. Weiterhin können aus bereits gemessenen und damit bekannten Verläufen von Speicher- bzw. Leistungsfähigkeit über der Batterielebensdauer Extrapolationsvorschriften abgeleitet werden.

Bei Unterschreitung eines vorgegebenen Mindestwerts  $t_{\text{Rest,min}}$  der Restlebensdauer wird ein optisches und/oder akustisches Warnsignal an den Fahrer ausgegeben, das zum Batterietausch auffordert.

Um bei flach abfallenden oder gar ansteigenden Zeitverläufen der prädierten Spannung oder entnehmbaren Ladung, die nahe an den vorgegebenen Minimalwerten liegen, eine zu späte Batterietauschwarnung zu vermeiden, wird als zusätzliches Tauschkriterium die Unterschreitung eines vorgegebenen Mindestabstands zwischen aktueller prädizierter Spannung bzw. entnehmbarer Ladung und dem zugehörigen Minimalwert ergänzt:

$$\text{Warnsignal} = (t_{\text{Rest}} < t_{\text{Rest,min}}) \text{ oder } \dots$$

$$(U_{\text{Batt,pred1,2,...}} - U_{\text{Battmin1,2,...}}) < \Delta U_{\text{Battmin1,2,...}} \text{ oder } \dots$$

$$(Q_{\text{e,pred1,2,...}} - Q_{\text{emin1,2,...}}) < \Delta Q_{\text{emin1,2,...}}$$

24.06.03 Bü/Pv

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Ansprüche

10

1. Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer Batterie in einem KFZ, dadurch gekennzeichnet, dass die Restlebensdauer durch Extrapolation mit Hilfe eines mathematischen Modells des Energiespeichers ermittelt wird und diese Restlebensdauer als Zeit bis zum Erreichen beliebig festlegbarer Grenzwerte für die Mindestleistung oder Mindestspeicherfähigkeit definiert wird und die verbleibende Lebensdauer bzw. die Restlebensdauer angezeigt wird und bei Unterschreiten eines vorgebbaren Schwellwertes für die Restlebensdauer eine Warnung abgegeben wird.

15

20

2. Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter des Energiespeichers über die Lebensdauer kontinuierlich an die realen Werte adaptiert werden.

25

3. Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass Werte für die Leistungsfähigkeit und/oder Speicherfähigkeit des Energiespeichers in regelmäßigen Zeitabständen anhand des Modells berechnet und gespeichert werden.

30

4. Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass Werte für die Leistungsfähigkeit und/oder Speicherfähigkeit des Energiespeichers auf einen vorgebbaren Ladezustand und/oder eine Temperatur bezogen werden.

35

5. Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Werten für die Leistungsfähigkeit und/oder Speicherfähigkeit des Energiespeichers und den für den jeweiligen Anwendungsfall geforderten Mindestwerten die zu erwartende

Restlebensdauer durch Extrapolation bestimmt wird.

- 5      6. Vorrichtung zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen  
Energiespeichers, dadurch gekennzeichnet, dass mit ihr wenigstens ein Verfahren  
nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchgeführt wird und die Vorrichtung  
wenigstens Prozessor- und Speichermittel sowie Anzeigemittel umfasst.



5 24.06.03 Bü/Pv

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers

Zusammenfassung

15

Es werden Verfahren zur Vorhersage einer Restlebensdauer eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer Batterie in einem KFZ sowie Vorrichtungen zur Durchführung solcher Verfahren beschrieben, bei denen die Restlebensdauer durch Extrapolation mit Hilfe eines mathematischen Modells des Energiespeichers ermittelt wird. Diese Restlebensdauer wird als Zeit bis zum Erreichen beliebig festlegbarer Grenzwerte für die Mindestleistung oder Mindestspeicherfähigkeit festgelegt. Die verbleibende Lebensdauer bzw. die Restlebensdauer sowie eine Warnung bei Unterschreiten eines vorgebbaren Schwellwertes werden angezeigt. Die Parameter des Energiespeichers werden über die Lebensdauer kontinuierlich an die realen Werte adaptiert. Aus den in regelmäßigen Zeitabständen anhand des Modells berechneten und gespeicherten Werten der auf einen vorgebbaren Ladezustand und Temperatur bezogenen Leistungsfähigkeit und/oder Speicherfähigkeit und den für den jeweiligen Anwendungsfall geforderten Mindestwerten wird die zu erwartende Restlebensdauer durch Extrapolation bestimmt.

20

25

30

112

R 306288

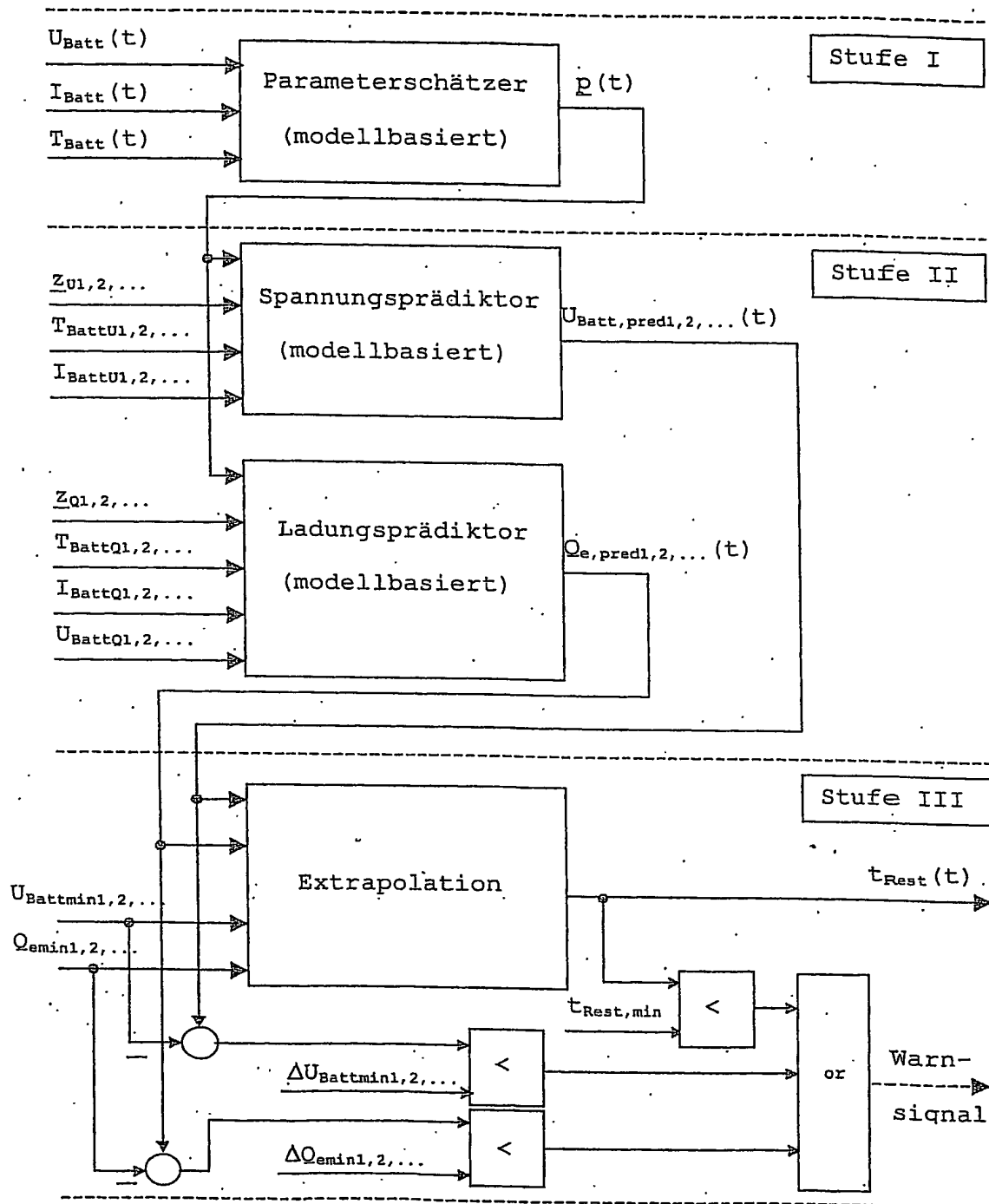


Bild 1: Struktur des Lebensdauerprädiktors

2/2

R306288

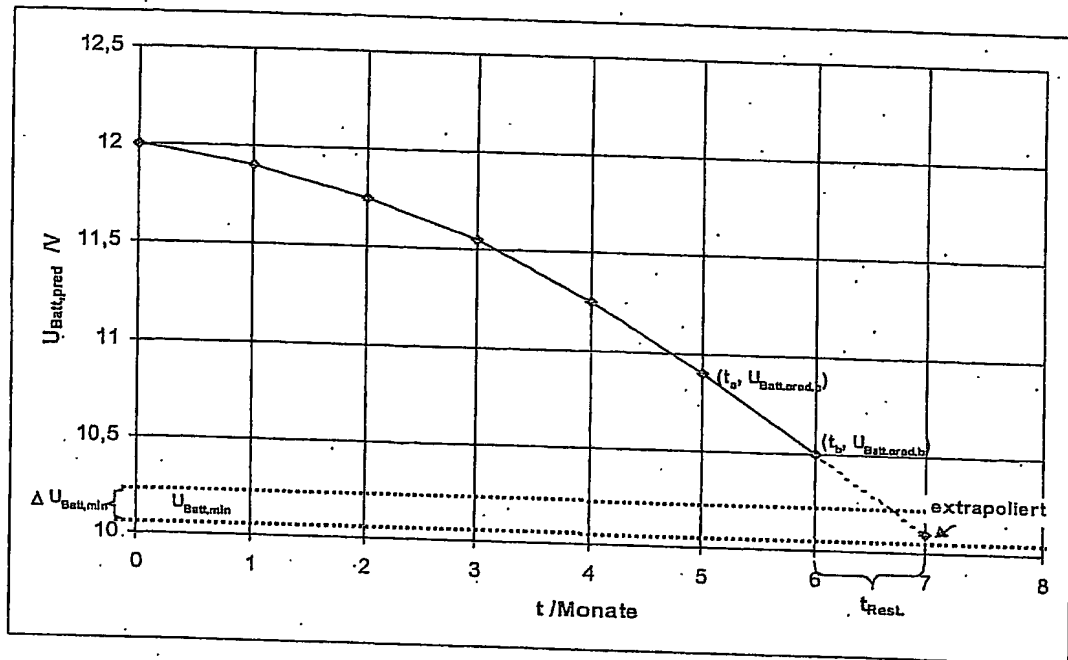


Bild 2: Extrapolation am Beispiel der Spannungsprädiktion